

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-272910

(43)Date of publication of application : 26.09.2003

(51)Int.Cl.

H01F 1/24  
 B22F 3/24  
 H01F 1/33  
 // B22F 3/00  
 C22C 38/00

(21)Application number : 2002-068294

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 13.03.2002

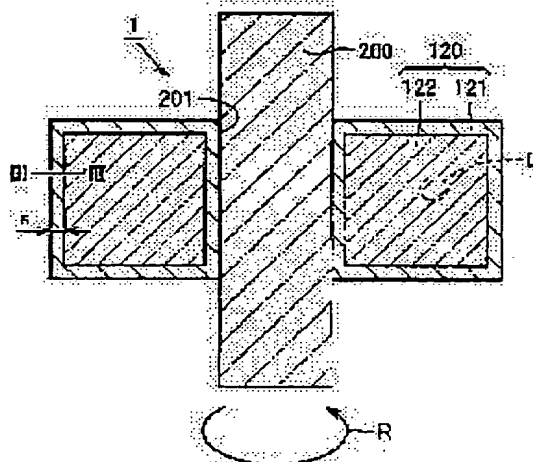
(72)Inventor : SHIMADA YOSHIYUKI

## (54) MAGNETIC MATERIAL

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetic material having a high mechanical characteristic.

SOLUTION: This magnetic material 120 has an internal section 122 formed of a green compact containing soft magnetic particles and a surface section 121 which is provided to come into contact with at least part of the internal section 122 and has a higher bending strength than the internal section 122 has. The bending strength of the internal section 122 continuously increases as getting nearer to the surface section 121. The surface section 121 is formed by subjecting the surface of the magnetic material 120 to heat treatment selected from among a group composed of carburizing, vacuum hardening, bright quenching, weak carburizing, and carbonitriding.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2003-272910  
(P2003-272910A)

(43) 公開日 平成15年9月26日 (2003.9.26)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコ-ト <sup>*</sup> (参考)
H 0 1 F 1/24		H 0 1 F 1/24	4 K 0 1 8
B 2 2 F 3/24		B 2 2 F 3/24	B 5 E 0 4 1
H 0 1 F 1/33		H 0 1 F 1/33	
// B 2 2 F 3/00		B 2 2 F 3/00	B
C 2 2 C 38/00	3 0 3	C 2 2 C 38/00	3 0 3 S
審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 10 頁)			

(21) 出願番号 特願2002-68294 (P2002-68294)

(22) 出願日 平成14年3月13日 (2002.3.13)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 島田 良幸

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友

電気工業株式会社伊丹製作所内

(74) 代理人 100064746

弁理士 深見 久郎 (外4名)

Fターム(参考) 4K018 AA24 AA25 AA26 AA28 AA30

AA31 BB04 BC01 BC28 BC29

BC30 BD01 FA11 GA04 KA44

5E041 AA02 AA04 AA05 AA06 AA07

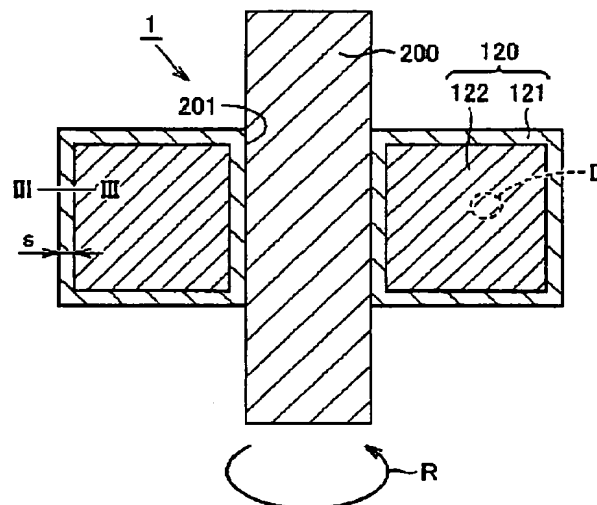
BB03 BC05 CA04

(54) 【発明の名称】 磁性材料

(57) 【要約】

【課題】 高い機械的特性を有する磁性材料を提供する。

【解決手段】 磁性材料120は、軟磁性粒子を有する圧粉体により形成される内部122と、内部122の少なくとも一部分に接触するように設けられて内部122よりも高い抗折強度を有する表面部121とを備える。内部122から表面部121に近づくにつれて抗折強度は連続的に大きくなる。表面部121は、磁性材料120の表面を浸炭焼入れ、真空焼入れ、光輝焼入れ、弱浸炭焼入れおよび浸炭窒化焼入れからなる群より選ばれた少なくとも一種の熱処理をして形成される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 軟磁性粒子を有する圧粉体により形成される内部と、  
前記内部の少なくとも一部分に接触するように設けられて前記内部よりも高い抗折強度を有する表面部とを備えた、磁性材料。

【請求項 2】 前記内部から前記表面部に近づくにつれて抗折強度は連続的に大きくなる、請求項 1 に記載の磁性材料。

【請求項 3】 前記表面部は、前記磁性材料の表面に熱処理をして形成される、請求項 1 または 2 に記載の磁性材料。

【請求項 4】 前記熱処理は、浸炭焼入れ、真空焼入れ、光輝焼入れ、弱浸炭焼入れおよび浸炭窒化焼入れからなる群より選ばれた少なくとも一種の熱処理を含む、請求項 3 に記載の磁性材料。

【請求項 5】 軟磁性粒子を有する圧粉体により形成される内部と、  
前記内部の少なくとも一部分に接触するように設けられて前記内部よりも高い引張強度を有する表面部とを備えた、磁性材料。

【請求項 6】 前記内部から前記表面部に近づくにつれて引張強度は連続的に大きくなる、請求項 5 に記載の磁性材料。

【請求項 7】 前記表面部は、前記磁性材料の表面に熱処理をして形成される、請求項 5 または 6 に記載の磁性材料。

【請求項 8】 前記熱処理は、真空焼入れおよび光輝焼入れからなる群より選ばれた少なくとも一種の熱処理を含む、請求項 7 に記載の磁性材料。

【請求項 9】 前記内部は、軟磁性粒子を含み、残部が不可避的不純物である、請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の磁性材料。

【請求項 10】 前記内部は、軟磁性粒子と、樹脂とを含む、請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の磁性材料。

【請求項 11】 前記内部は、複合磁性粒子を含み、その複合磁性粒子は、軟磁性粒子と、その軟磁性粒子の表面を取り囲む絶縁性被膜とを有する、請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の磁性材料。

【請求項 12】 前記内部は、前記複合磁性粒子を含み、残部が不可避的不純物である、請求項 11 に記載の磁性材料。

【請求項 13】 前記内部は、前記複合磁性粒子と、樹脂とを含む、請求項 11 に記載の磁性材料。

【請求項 14】 前記表面部の厚み  $s$  は、前記表面部の電気抵抗率を  $R$ 、前記磁性材料に印加される交流磁場の角振動数を  $w$  ( $w = 2\pi f$ 、 $f$  は周波数)、表面部の透磁率を  $t$  とすると、 $s \leq (2R/wt)^{1/2}$  で示す関係式を満たす、請求項 1 から 13 のいずれか 1 項に記載の

磁性材料。

【請求項 15】 前記表面部は、互いに焼結結合した複数の軟磁性粒子を含む、請求項 1 から 14 のいずれか 1 項に記載の磁性材料。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、磁性材料に関し、特に、モータなどで用いられる磁性材料に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、圧粉体により構成される磁心が、たとえば、特開 2002-13990 公報に開示されている。この公報に開示された磁心は、圧粉体と、その圧粉体の外側を被覆する絶縁層とを有する。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 モータなどで用いられる磁性材料には、金属軸が圧入される。上記公報に開示された磁心では、機械的強度が小さいため、金属軸を圧入する際、磁心の破壊が生じやすく、圧入が困難なため、モータ用の磁性材料として使用することができない。

【0004】 また、各種のアクチュエータなどの他の部材と接触あるいは衝撃が与えられるような部材、または他の部材と摺動する部材では、耐摩耗性、耐衝撃性等が要求される。このような部材としては、上記公報の開示された磁心では、欠け、割れ、磨耗等が顕著であり、使用することができない。

【0005】 そこで、この発明は上述のような問題点を解決するためになされたものであり、優れた機械的特性を有する磁性材料を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】 この発明の一つの局面に従った磁性材料は、軟磁性粒子を有する圧粉体により形成される内部と、内部の少なくとも一部分に接触するように設けられて内部よりも高い抗折強度を有する表面部とを備える。

【0007】 このように構成された磁性材料では、内部が軟磁性粒子を含むため、磁性材料に高周波の磁界を印加した場合であっても、高い磁束密度を得ることができる。さらに、磁性材料は、内部よりも高い抗折強度を有する表面部を含むため、磁性材料全体の抗折強度が大きくなる。そのため、機械的特性が優れた磁性材料を提供することができる。なお、抗折強度（曲げ強度）は、JIS（日本工業規格）Z2248 の金属材料共通試験方法で測定される。

【0008】 好ましくは、内部から表面部に近づくにつれて抗折強度は連続的に大きくなる。

【0009】 好ましくは、表面部は、磁性材料の表面に熱処理をして形成される。好ましくは、熱処理は、浸炭焼入れ、真空焼入れ、光輝焼入れ、弱浸炭焼入れおよび

浸炭窒化焼入れからなる群より選ばれた少なくとも一種の熱処理を含む。

【0010】この発明の別の局面に従った磁性材料は、軟磁性粒子を有する圧粉体により形成される内部と、内部の少なくとも一部分に接触するように設けられて内部よりも高い引張強度を有する表面部とを備える。

【0011】このように構成された磁性材料では、内部が軟磁性粒子を含むため、磁性材料に高周波の磁界を印加した場合であっても、高い磁束密度を得ることができる。さらに、磁性材料は、内部よりも高い引張強度を有する表面部を含むため、磁性材料全体の引張強度が大きくなる。そのため、機械的特性が優れた磁性材料を提供することができる。なお、引張強度は、JIS Z 2241の金属材料共通試験方法で測定される。

【0012】好ましくは、内部から表面部に近づくにつれて引張強度は連続的に大きくなる。

【0013】好ましくは、表面部は、磁性材料の表面を熱処理をして形成される。好ましくは、熱処理は、真空焼入れおよび光輝焼入れからなる群より選ばれた少なくとも一種の熱処理を含む。

【0014】好ましくは、内部は、軟磁性粒子を含み、残部が不可避的不純物である。このように構成された磁性材料の内部は、軟磁性粒子と不可避的不純物のみから構成されるため、軟磁性粒子の量が特に大きくなる。そのため、磁束密度を向上させることができ、磁気特性に優れた磁性材料を提供することができる。

【0015】好ましくは、内部は、軟磁性粒子と、樹脂とを含む。好ましくは、内部は、複合磁性粒子を含み、その複合磁性粒子は、軟磁性粒子と、その軟磁性粒子の表面を取り囲む絶縁性被膜とを有する。このように構成された磁性材料では、複合磁性粒子は、軟磁性粒子の表面に設けられた絶縁性被膜を含むため、渦電流損失を低下させることができ、磁気特性に優れた磁性材料を提供することができる。

【0016】好ましくは、内部は、複合磁性粒子を含み、残部が不可避的不純物である。このように構成された磁性材料の内部は、複合磁性粒子と不可避的不純物のみから構成されるため、軟磁性粒子の量が特に大きくなる。そのため、磁束密度を向上させることができ、磁気特性に優れた磁性材料を提供することができる。

【0017】好ましくは、内部は、複合磁性粒子と、樹脂とを含む。このように構成された磁性材料の内部は、複合磁性粒子を含む。複合磁性粒子は、軟磁性粒子の表面に設けられた絶縁性被膜を含むため、渦電流損失を低下させることができる。その結果、磁気特性に優れた磁性材料を提供することができる。さらに、内部は樹脂を含むため、複合磁性粒子の間には樹脂が介在する。その結果、複合磁性粒子の表面に設けられた絶縁性被膜が他の絶縁性被膜と擦れ合って絶縁破壊することがないため、磁気特性の低下を防止することができる。樹脂の割

合は、0質量%を超えて2質量%以下であることが好ましい。

【0018】好ましくは、表面部の厚み $s$ は、表面部の電気抵抗率を $R$ 、磁性材料に印加される交流磁場の角振動数を $w$  ( $w = 2\pi f$ 、 $f$ は周波数)、表面部の透磁率を $t$ とすると、 $s \leq (2R/wt)^{1/2}$ で示す関係式を満たす。この場合、磁化の変化が表面での値の $e^{-1}$  (約 $1/3$ )になる深さ(表皮深さ)よりも表面部の厚みが薄くなるため、軟磁性粒子の圧粉体により構成される内部でも、磁化の変化が起こる。そのため、高周波の磁場が印加されても磁束密度が低下せず、磁気特性に優れた磁性材料を提供することができる。

【0019】好ましくは、表面部は、互いに焼結結合した複数の軟磁性粒子を含む。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を説明する。なお、以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付しその説明は繰返さない。

20 【0021】(実施の形態1)図1は、この発明の実施の形態1に従った磁性材料の断面図である。図2は、図1中のIIで囲んだ部分を拡大して示す断面図である。

【0022】図1および図2を参照して、この発明の実施の形態1に従った磁性材料120は、軟磁性粒子10を有する圧粉体により形成される内部122と、内部122の少なくとも一部分に接触するように設けられて内部122よりも高い抗折強度を有する表面部121とを備える。磁性材料120は、モータのコア体であり、貫通孔201を有する。貫通孔201に軸体200が圧入されており、軸体200と磁性材料120が磁性部材1を構成している。

【0023】軸体200の材質に関しては特に制限されるものではなく、磁性材料120の材質、密度、および要求品質ならびにコストに応じて選択される。一例を挙げれば、JIS呼称S10C、JIS呼称SNCおよびJIS呼称SNCMに代表される機械構造用炭素鋼または合金鋼、JIS呼称SUS、SUHに代表されるステンレス鋼、JIS呼称NNCB、JIS呼称NLCBに代表されるニッケル鋼、JIS呼称SK、JIS呼称SKH、JIS呼称SKDなどの工具鋼、快削鋼のJIS呼称SUM、軸受鋼のJIS呼称SUJなどのいずれでも用いることができる。他にも、JIS呼称SFやJIS呼称SFCMなどの各種鍛鋼品、JIS呼称SCまたはSCSなどの各種鋳鋼品、JIS呼称FCまたはJIS呼称FCDなどの鋳鉄品のいずれを軸体200として用いることができる。また、場合によってはアルミニウム(A1)またはマグネシウム(Mg)またはその合金系の非鉄金属材料も用いることができる。

【0024】磁性材料120の内部122を構成する軟磁性粒子10の平均粒径は、 $5\mu\text{m}$ 以上 $200\mu\text{m}$ 以下

であることが好ましい。5  $\mu$ m未満では、軟磁性粒子が酸化しやすいため、磁気特性が劣化しやすい。200  $\mu$ mを超えると、成形時の圧縮性が低下するため、成形体の密度が低下し取り扱いが困難となる。

【0025】軟磁性粒子10として、鉄(Fe)、鉄(Fe)-シリコン(Si)系合金、鉄(Fe)-窒素(N)系合金、鉄(Fe)-ニッケル(Ni)系合金、鉄(Fe)-炭素(C)系合金、鉄(Fe)-ホウ素(B)系合金、鉄(Fe)-コバルト(Co)系合金、鉄(Fe)-リン(P)系合金、鉄(Fe)-ニッケル(Ni)-コバルト(Co)系合金および鉄(Fe)-アルミニウム(Al)-シリコン(Si)系合金からなる群より選ばれた少なくとも1種を含む。これらの1種または2種以上を用いてもよい。軟磁性粒子10は、軟磁性金属により構成されていればよく、金属単体でも合金でも特に制限はない。

【0026】磁性材料120は、軸体200と一体となって軸体200を中心として矢印Rで示す方向に回転する。また、磁性材料120には銅線が巻き付けられる。磁性材料120の内部122は、軟磁性粒子10と不可

避的不純物のみから構成される。内部122が、添加物を含んでもよい。

【0027】表面部121では、隣り合う軟磁性粒子同士が焼結結合(金属結合)している。表面部121は、複数の軟磁性粒子を圧縮して得られる圧粉体(成形体)の表面を加熱(熱処理)することで形成される。熱処理を浸炭雰囲気で行うことにより浸炭焼入れをして表面部121を形成することが好ましい。この場合、表面部121ではマルテンサイト相が析出する。磁気特性に影響を及ぼさないのであれば、あらかじめ圧粉体に0質量%を超えて0.8質量%以下の炭素を配合し、これに大気中で焼入れを施してもよい。また、高周波加熱を用いた真空焼入れ、光輝焼入れ、弱浸炭焼入れ、または浸炭窒化焼入れ等、要求に応じていずれでも用いることができる。さらに熱処理方法として、高周波焼入れだけでなく、誘導加熱、レーザ加熱またはプラズマ加熱を用いることができる。圧粉体内に、ホウ素、リン、ホウ化物、リン化物または酸化バナジウム(V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)などを添加してもよい。

【0028】図3は、図1中のIII-III線上での磁性材料の抗折強度を示すグラフである。図3を参照して、内部122から表面部121に近づくにつれて抗折強度は連続的に大きくなる。これは、内部122から表面部121に近づくにつれて、互いに焼結結合する軟磁性粒子の割合が大きくなるからである。そのため、内部122と表面部121との界面は明確でない。

【0029】内部122では、軟磁性粒子10同士が焼結結合をしておらず、単に接触しているだけである。内部122は、焼結が起こる温度よりも低い温度で熱処理(焼きなまし)されていてよい。

【0030】表面部121の厚みsは、表面部121の電気抵抗率をR、磁性材料120に印加される交流磁場の角振動数をw、表面部121の透磁率をtとすると、 $s \leq (2R/wt)^{1/2}$ で示す関係式を満たす。この関係式を満たす場合、磁化の変化が表面での値の $e^{-1}$ (約1/3)になる深さ(表皮深さ)よりも表面部121の厚みが薄くなる。軟磁性粒子10の圧粉体により構成される内部122でも、磁化の変化が起こる。軟磁性粒子10の圧粉体により構成される内部122は、軟磁性粒子の焼結体により構成される表面部121と比較して、高周波の磁場が印加された場合でも、磁束密度が低下しない。厚みsが上記関係式を満たすことにより、高周波の磁場が印加されても磁束密度が低下せず、磁気特性に優れた磁性材料を提供することができる。

【0031】このように構成された、この発明の実施の形態1に従った磁性材料120では、内部122が軟磁性粒子の圧粉体により構成される。そのため、磁性材料120に高周波の磁場が印加された場合であっても、磁束密度の低下を防止することができ、磁気特性に優れた磁性材料120を提供することができる。さらに、表面部121は、内部122より大きな抗折強度を有する。そのため、表面部121により構成される貫通孔201に軸体200を圧入しても、磁性材料120が破壊することがない。そのため、機械的強度に優れた磁性材料120を提供することができる。

【0032】(実施の形態2)図4は、この発明の実施の形態2に従った磁性材料の断面図である。図5は、図4中のVで囲んだ部分を拡大して示す断面図である。図4および図5を参照して、この発明の実施の形態2に従った磁性材料130は、軟磁性粒子10を有する圧粉体により形成される内部123と、内部123の少なくとも一部分に接触するように設けられて内部123よりも高い抗折強度を有する表面部121とを備える。

【0033】内部123は、複合磁性粒子30を含み、その複合磁性粒子30は、軟磁性粒子10と、その軟磁性粒子10の表面を取り囲む絶縁性被膜20とを有する。複合磁性粒子30は、軟磁性粒子10の表面に設けられた絶縁性被膜20を含むため、渦電流損失を低下させることができる。内部123は、複合磁性粒子30と不可避的不純物のみから構成される。

【0034】軸体200としては、実施の形態1で示したものと同様のものを用いることができる。また、軟磁性粒子10としては、実施の形態1で示した軟磁性粒子と同様のものを用いることができる。表面部121は、実施の形態1と同様の方法により製造される。

【0035】絶縁性被膜20は、金属酸化物を含んでもよい。この場合、金属酸化物は、マグネタイト(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)、マンガン(Mn)-亜鉛(Zn)フェライト、ニッケル(Ni)-亜鉛(Zn)フェライト、コバルト(Co)フェライト、マンガン(Mn)フェライト、ニ

ッケル (Ni) フェライト、銅 (Cu) フェライト、マグネシウム (Mg) フェライト、リチウム (Li) フェライト、マンガン (Mn) - マグネシウム (Mg) フェライト、銅 (Cu) - 亜鉛 (Zn) フェライトおよびマグネシウム (Mg) - 亜鉛 (Zn) フェライトからなる群より選ばれた少なくとも1種を含む。また、絶縁性被膜は、各種フェライトの他、リンと鉄とを含む酸化物でもよい。

【0036】軟磁性粒子10の平均粒径は、好ましくは5 $\mu$ m以上200 $\mu$ mである。絶縁性被膜20の厚みは、好ましくは0.005 $\mu$ m以上20 $\mu$ m以下であり、さらに好ましくは、0.01 $\mu$ m以上5 $\mu$ m以下である。

【0037】図4中のI I I - I I I線上での磁性材料130の抗折強度は、図3と同様に、内部124から表面部121に近づくにつれて連続的に大きくなる。表面部121の厚みsは、表面部121の電気抵抗率をR、磁性材料120に印加される交流磁場の角振動数をw、表面部121の透磁率をtとすると、 $s \leq (2R/wt)^{1/2}$ で示す関係式を満たす。

【0038】このように構成された、この発明の実施の形態2に従った磁性材料130では、まず、実施の形態1に従った磁性材料120と同様の効果がある。さらに、磁性材料130は複合磁性粒子30を含む。そのため、渦電流の発生を防止することができ、磁気特性に優れた磁性材料130を提供することができる。さらに、磁性材料130は複合磁性粒子30を含み、残部が不可避の不純物であるため、複合磁性粒子30の割合を大きくすることができる。その結果、磁気特性に優れた磁性材料130を提供することができる。

【0039】(実施の形態3) 図6は、この発明の実施の形態3に従った磁性材料の断面図である。図7は、図6中のV I Iで囲んだ部分を拡大して示す断面図である。図6および図7を参照して、この発明の実施の形態3に従った磁性材料140は、軟磁性粒子10を有する圧粉体により形成される内部124と、内部124の少なくとも一部分に接触するように設けられて内部124よりも高い抗折強度を有する表面部121とを備える。

【0040】内部124は、複合磁性粒子30と、樹脂としての有機物40を含み、その複合磁性粒子30は、軟磁性粒子10と、その軟磁性粒子10の表面を取り囲む絶縁性被膜20とを有する。複合磁性粒子30は、軟磁性粒子10の表面に設けられた絶縁性被膜20を含むため、渦電流損失を低下させることができる。

【0041】有機物40としては特に限定されず、熱硬化性樹脂および熱可塑性樹脂の少なくとも1種を用いることができる。熱硬化性樹脂として、(1)フェノール樹脂 (PF)、(2)アミノ樹脂、(3)エポキシ樹脂 (EP)、(4)不飽和ポリエステル (UP)、(5)シアリルフタレート樹脂 (PDAP)、または(6)ポ

リウレタン (ケイ素樹脂) (SI) を用いることができる。アミノ樹脂として、(I)ユリア樹脂 (UF)、または(II)メラミン樹脂 (MF) がある。熱可塑性樹脂として、汎用プラスチックとエンジニアリングプラスチックがある。汎用プラスチックとして、3大汎用プラスチックと、準エンジニアリングプラスチックがある。3大汎用プラスチックのうち、結晶性のものとして

(1)ポリオレフィンがある。ポリオレフィンとして、

(I)ポリエチレン (PE) または(II)ポリプロピレン (PP) がある。3大汎用プラスチックのうち、非晶性のものとして(2)ポリ塩化ビニル (PVC) または(3)ポリスチレン (PS) がある。準エンジニアリングプラスチックのうち、結晶性のものとして(1)ポリ4メチルペンテン (PMP) がある。準エンジニアリングプラスチックのうち、非晶性のものとして(1)アクリロニトリル-ブタジエンスチレン (ABS樹脂)、(2)アクリロニトリル-スチレン (AS樹脂)、(3)メタクリル樹脂 (PMMA) がある。

【0042】エンジニアリングプラスチックとして、汎用5大エンジニアリングプラスチック、ハイエンジニアプラスチック、またはスーパーエンジニアリングプラスチックがある。汎用5大エンジニアリングプラスチックのうち、結晶性のものとして、(1)ポリアミド (PA (6, 6))、(2)ポリアセタール (POM) または(3)ポリアルキレンテレフタレートがある。ポリアルキレンテレフタレートとして(I)ポリブチレンテレフタレート (PBT) または(II)ポリエチレンテレフタレート (PET) がある。汎用5大エンジニアリングプラスチックのうち、非晶性のものとして(1)ポリカーボネート (PC)、(2)変性ポリフェニレンエーテル (PPE)、または(3)変性ポリフェニレンオキサイド (PPO) がある。ハイエンジニアリングプラスチックのうち、結晶性のものとして、ポリフェニレンサルファイド (PPS) または変性ポリアミド6T (PA6T) がある。ハイエンジニアリングプラスチックのうち、非晶性のものとしてポリサルホン (PSF) がある。スーパーエンジニアリングプラスチックとしては、非架橋型のものと架橋型のものがある。非架橋型のものとして熱可塑性のものと非熱可塑性コンプレッション主体のものがある。熱可塑性のものとして、液晶ポリマー (LCP) がある。熱可塑性のものうち、結晶性のものとしてポリエーテルエーテルケトン (PEEK)、全芳香族ポリエステル、熱可塑性ポリイミド (TPI)、熱可塑性フッ素樹脂 (PEA、ETFE)、またはポリケトンサルファイド (PKS) がある。熱可塑性のうち非晶性のものとしてポリアリレート (PAR)、ポリエーテルイミド (PEI)、ポリアミドイミド (PAI)、ポリエーテルサルホン (PES) またはポリイミド (PI) がある。非熱可塑性コンプレッション主体のものとして、ポリテトラフルオロエチレン (PTF

E)、全芳香族ポリエステルまたはポリイミド(PI)がある。このポリイミドはインジェクションでも可能である。架橋型のものとして、ポリアミノビスマレイミド(PAB)、トリアジン樹脂、架橋型PI(ポリイミド)または架橋型PAI(ポリアミドイミド)がある。

【0043】好ましくは、有機物40は、ケトン基を有する熱可塑性樹脂、熱可塑性ポリエーテルニトリル樹脂、熱可塑性ポリアミドイミド樹脂、熱硬化性ポリアミドイミド樹脂、熱可塑性ポリイミド樹脂、熱硬化性ポリイミド樹脂、ポリアリレート樹脂およびフッ素を有する樹脂からなる群より選ばれた少なくとも1種を含む。これらの樹脂は、好ましくは、長期耐熱温度が200℃以上である。「長期耐熱温度」とは、UL(underwriters laboratories)規格746Bで規定される耐熱温度であり、無重力で長時間熱処理をした際の力学的特性が低下する耐熱限界を示す尺度である。具体的には、10万時間空气中で熱処理した後、常温での特性、たとえば引張り強さおよび衝撃強さが半減する温度をいう。この長期耐熱温度の推定には、高温測深試験のアレニウスプロットを用いる。

【0044】ケトン基を有する熱可塑性樹脂として、ポリエーテルエーテルケトン(PEEK、長期耐熱温度260℃)、ポリエーテルケトンケトン(PEKK、長期耐熱温度240℃)、ポリエーテルケトン(PEK、長期耐熱温度220℃)およびポリケトンサルファイド(PKS、長期耐熱温度210~240℃)がある。

【0045】熱可塑性ポリアミドイミドとして、アモコ社製の商品名TORLON(長期耐熱温度230~250℃)または東レ製の商品名T15000(長期耐熱温度250℃以上)がある。

【0046】ポリアリレートとして、商品名エコノール(長期耐熱温度240~260℃)がある。

【0047】熱硬化性ポリアミドイミドとして、東レ製の商品名T11000(長期耐熱温度230℃)がある。

【0048】フッ素を有する樹脂として、ポリテトラフルオロエチレン(PTFE、長期耐熱温度260℃)、テトラフルオロエチレン-パーフルオロアルキルビニルエーテル共重合体(PFA、長期耐熱温度260℃)およびテトラフルオロエチレン-ヘキサフルオロプロピレン共重合体(FEP、長期耐熱温度200℃)がある。

【0049】磁性材料140の質量%に対する有機物40の割合は0質量%を超え2質量%以下である。有機物40の割合が2質量%を超えると、軟磁性粒子10の割合が小さくなるため磁束密度が低下する。さらに好ましくは、有機物40の割合は0質量%を超え1質量%以下である。

【0050】このように構成された実施の形態3に従った磁性材料140では、まず、実施の形態2に従った磁性材料130と同様の効果がある。さらに、複合磁性粒

子30の間には適量の有機物40が介在するため、複合磁性粒子30の絶縁性被膜20同士が直接接触して絶縁破壊を起こすことがない。その結果、磁気特性の低下を防止することができる。

【0051】(実施の形態4)図8は、この発明の実施の形態4に従った磁性材料の断面図である。図8中の11で囲んだ部分は、図2で示される。

【0052】図8および図2を参照して、この発明の実施の形態4に従った磁性材料150は、軟磁性粒子10を有する圧粉体により形成される内部122と、内部122の少なくとも一部分に接触するように設けられて内部122よりも高い引張強度を有する表面部125とを備える。磁性材料150は、モータのコア体であり、貫通孔201を有する。貫通孔201に軸体200が圧入されており、軸体200と磁性材料150が磁性部材1を構成している。

【0053】磁性材料150の内部122を構成する軟磁性粒子10の平均粒径は、5μm以上200μm以下であることが好ましい。

【0054】軟磁性粒子10として、実施の形態1と同様のものを用いることができる。磁性材料150は、軸体200と一体となって軸体200を中心として矢印Rで示す方向に回転する。また、磁性材料150には銅線が巻き付けられる。磁性材料150の内部122は、軟磁性粒子10と不可避の不純物のみから構成される。内部122が、添加物を含んでもよい。

【0055】表面部125では、隣り合う軟磁性粒子同士が焼結結合(金属結合)している。表面部125は、複数の軟磁性粒子を圧縮して得られる圧粉体(成形体)の表面を加熱(熱処理)することで形成される。表面部125は、内部122よりも大きい延性(伸び)を有する。表面部125を形成する方法としては、炭化および窒化をしない雰囲気および成分で、圧粉体を急速加熱したのち、急速冷却する方法がある。これにより、表面部125の延性が向上する。なお、この場合の急速冷却は、表面の高温部の熱が内部まで伝達することを防止する目的で行われる。急速加熱の方法として、高周波加熱を用いた真空焼入れ、または光輝焼入れ等、要求に応じていずれでも用いることができる。さらに熱処理方法として、高周波焼入れだけでなく、誘導加熱、レーザ加熱またはプラズマ加熱を用いることができる。

【0056】図9は、図8中のIX-IX線上での磁性材料の引張強度を示すグラフである。図9を参照して、内部122から表面部125に近づくにつれて引張強度は連続的に大きくなる。これは、内部122から表面部125に近づくにつれて、互いに焼結結合する軟磁性粒子の割合が大きくなるからである。そのため、内部122と表面部125との界面は明確でない。

【0057】内部122では、軟磁性粒子10同士が焼結結合をしておらず、単に接触しているだけである。内



部 122 は、焼結が起こる温度よりも低い温度で熱処理（焼きなまし）されている。

【0058】表面部 121 の厚み  $s$  は、実施の形態 1 と同様に、 $s \leq (2R/wt)^{1/2}$  で示す関係式を満たす。

【0059】このように構成された、この発明の実施の形態 4 に従った磁性材料 150 では、内部 122 が軟磁性粒子の圧粉体により構成される。そのため、磁性材料 150 に高周波の磁場が印加された場合であっても、磁束密度の低下を防止することができ、磁気特性に優れた磁性材料 150 を提供することができる。さらに、表面部 125 は、内部 122 に比べて大きな引張強度を有する。そのため、表面部 125 が他の部材と接触および摺動しても、表面部 125 の磨耗を防止することができる。そのため、機械的強度に優れた磁性材料 150 を提供することができる。

【0060】（実施の形態 5）図 10 は、この発明の実施の形態 5 に従った磁性材料の断面図である。図 10 中の V で囲んだ部分は、図 5 で示される。図 10 および図 5 を参照して、この発明の実施の形態 5 に従った磁性材料 160 は、軟磁性粒子 10 を有する圧粉体により形成される内部 123 と、内部 123 の少なくとも一部分に接触するように設けられて内部 123 よりも高い引張強度を有する表面部 125 とを備える。

【0061】内部 123 は、実施の形態 2 と同様の複合磁性粒子 30 を含む。表面部 125 は、実施の形態 4 と同様に構成されている。

【0062】このように構成された、この発明の実施の形態 5 に従った磁性材料 160 では、まず、実施の形態 4 に従った磁性材料 150 と同様の効果がある。さらに、磁性材料 160 は複合磁性粒子 30 を含む。そのため、渦電流の発生を防止することができ、磁気特性に優れた磁性材料 160 を提供することができる。さらに、磁性材料 160 は複合磁性粒子 30 を含み、残部が不可避の不純物であるため、複合磁性粒子 30 の割合を大きくすることができる。その結果、磁気特性に優れた磁性材料 160 を提供することができる。

【0063】（実施の形態 6）図 11 は、この発明の実施の形態 6 に従った磁性材料の断面図である。図 11 中の VI で囲んだ部分は、図 7 で示される。図 11 および図 7 を参照して、この発明の実施の形態 6 に従った磁性材料 170 は、軟磁性粒子 10 を有する圧粉体により形成される内部 124 と、内部 124 の少なくとも一部分に接触するように設けられて内部 124 よりも高い引張強度を有する表面部 125 とを備える。

【0064】内部 124 は、実施の形態 3 と同様の複合磁性粒子 30 を含む。表面部 125 は、実施の形態 4 と同様に構成されている。

【0065】内部 124 は、複合磁性粒子 30 と、樹脂としての有機物 40 を含み、その複合磁性粒子 30 は、

軟磁性粒子 10 と、その軟磁性粒子 10 の表面を取り囲む絶縁性被膜 20 とを有する。複合磁性粒子 30 は、軟磁性粒子 10 の表面に設けられた絶縁性被膜 20 を含むため、渦電流損失を低下させることができる。

【0066】このように構成された実施の形態 6 に従った磁性材料 170 では、まず、実施の形態 5 に従った磁性材料 160 と同様の効果がある。さらに、複合磁性粒子 30 の間には適量の有機物 40 が介在するため、複合磁性粒子 30 の絶縁性被膜 20 同士が直接接触して絶縁破壊を起こすことがない。その結果、磁気特性の低下を防止することができる。

【0067】（実施の形態 7）実施の形態 7 では、図 1 の表面部 121 の厚みと磁性材料 120 の磁束密度との関係を調べた。具体的には、表面部 121 の電気抵抗率  $R$  を  $10^3 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 、表面部の透磁率  $t$  を 700 とした。磁性材料 120 の表面部 121 の厚み  $s$  をさまざまに設定したサンプルを製造した。それらのサンプルの各々に角振動数  $w$  が 6280、大きさが  $10000 \text{ A/m}$  の交流磁場を印加した時の磁性材料 120 の磁束密度を調べた。その結果を図 12 に示す。

【0068】図 12 より、磁性材料 120 の表面部 121 の厚み  $s$  が  $(2R/wt)^{1/2}$  以下であれば、磁束密度が大きいことがわかる。そのため、特に大きな磁束密度を得るためには、表面部 121 の厚み  $s$  を  $(2R/wt)^{1/2}$  以下とすることが好ましい。

【0069】（実施の形態 8）図 13 は、この発明の実施の形態 8 に従った磁性材料の断面図である。図 14 は、図 13 中の XI V で囲んだ部分を拡大して示す断面図である。

【0070】図 13 および図 14 を参照して、この発明の実施の形態 8 に従った磁性材料 180 は、軟磁性粒子 10 を有する圧粉体により形成される内部 127 と、内部 127 の少なくとも一部分に接触するように設けられて内部 127 よりも高い抗折強度を有する表面部 121 とを備える。内部 127 は、軟磁性粒子 10 と有機物 40 とを有する。有機物 40 として、実施の形態 3 で開示したものと同様のものを用いることができる。

【0071】表面部 121 では、隣り合う軟磁性粒子同士が焼結結合（金属結合）している。表面部 121 は、複数の軟磁性粒子を圧縮して得られる圧粉体（成形体）の表面を加熱（熱処理）することで形成される。

【0072】図 13 中の III-III 線上での磁性材料の抗折強度は、図 3 と同様に示される。すなわち、内部 127 から表面部 121 に近づくにつれて抗折強度は連続的に大きくなる。

【0073】表面部 121 の厚み  $s$  は、実施の形態 1 と同様に、表面部 121 の電気抵抗率を  $R$ 、磁性材料 120 に印加される交流磁場の角振動数を  $w$ 、表面部 121 の透磁率を  $t$  とすると、 $s \leq (2R/wt)^{1/2}$  で示す関係式を満たす。

【0074】このように構成された、この発明の実施の形態 8 に従った磁性材料 180 では、まず、実施の形態 1 に従った磁性材料 120 と同様の効果がある。さらに、内部 127 が有機物 40 を含むため、軟磁性粒子 10 同士を強固に結合させることができる。

【0075】（実施の形態 9）図 15 は、この発明の実施の形態 9 に従った磁性材料の断面図である。図 15 中の X I V で囲んだ部分は、図 14 で示される。

【0076】図 15 および図 14 を参照して、この発明の実施の形態 9 に従った磁性材料 190 は、軟磁性粒子 10 を有する圧粉体により形成される内部 127 と、内部 127 の少なくとも一部分に接触するように設けられて内部 127 よりも高い引張強度を有する表面部 125 とを備える。内部 127 は、実施の形態 8 と同様に構成される。

【0077】表面部 125 では、隣り合う軟磁性粒子同士が焼結結合（金属結合）している。表面部 125 は、複数の軟磁性粒子を圧縮して得られる圧粉体（成形体）の表面を加熱（熱処理）することで形成される。表面部 125 は、内部 122 よりも大きい延性（伸び）を有する。

【0078】図 15 中の I X - I X 線上での磁性材料の引張強度は、図 9 と同様に示される。すなわち、内部 127 から表面部 125 に近づくにつれて引張強度は連続的に大きくなる。

【0079】表面部 121 の厚み  $s$  は、実施の形態 1 と同様に、 $s \leq (2R/wt)^{1/2}$  で示す関係式を満たす。

【0080】このように構成された、この発明の実施の形態 9 に従った磁性材料 190 では、実施の形態 4 に従った磁性材料 150 と同様の効果がある。さらに、内部 127 が有機物 40 を含むため、軟磁性粒子 10 同士を強固に結合させることができる。

【0081】以上、この発明の実施の形態について説明したが、ここで示した実施の形態は、さまざまに変形することが可能である。まず、本発明の適用分野としては、各種モータ用ローターおよびステーター、各種ソレノイド用電磁弁、ならびに耐衝撃性と耐摩耗性が要求されるようなリアモータ、磁性モータおよびアクチュエータ等に用いることができる。

【0082】今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求

の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【0083】

【発明の効果】この発明に従えば、高い機械的強度を有する磁性材料を製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 この発明の実施の形態 1 に従った磁性材料の断面図である。

【図 2】 図 1 中の I I で囲んだ部分を拡大して示す断面図である。

【図 3】 図 1 中の I I I - I I I 線上での磁性材料の抗折強度を示すグラフである。

【図 4】 この発明の実施の形態 2 に従った磁性材料の断面図である。

【図 5】 図 4 中の V で囲んだ部分を拡大して示す断面図である。

【図 6】 この発明の実施の形態 3 に従った磁性材料の断面図である。

【図 7】 図 6 中の V I I で囲んだ部分を拡大して示す断面図である。

【図 8】 この発明の実施の形態 4 に従った磁性材料の断面図である。

【図 9】 図 8 中の I X - I X 線上での磁性材料の引張強度を示すグラフである。

【図 10】 この発明の実施の形態 5 に従った磁性材料の断面図である。

【図 11】 この発明の実施の形態 6 に従った磁性材料の断面図である。

【図 12】 実施の形態 7 において、表面層の厚みと磁束密度との関係を示すグラフである。

【図 13】 この発明の実施の形態 8 に従った磁性材料の断面図である。

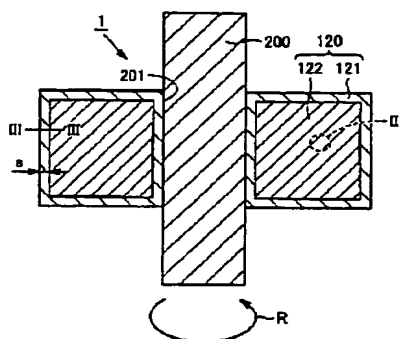
【図 14】 図 13 中の X I V で囲んだ部分を拡大して示す断面図である。

【図 15】 この発明の実施の形態 9 に従った磁性材料の断面図である。

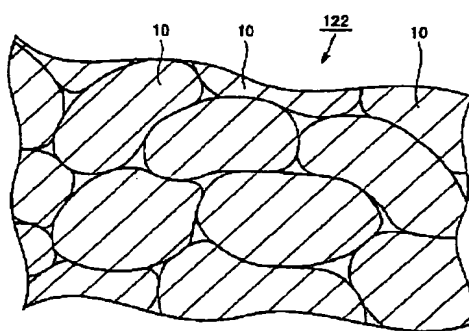
【符号の説明】

1 磁性部材、10 軟磁性粒子、20 絶縁性被膜、30 複合磁性粒子、40 有機物、120、130、140、150、160、170、180、190 磁性材料、200 軸体。

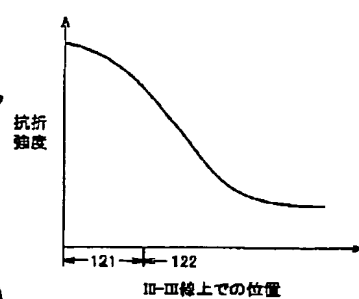
【図 1】



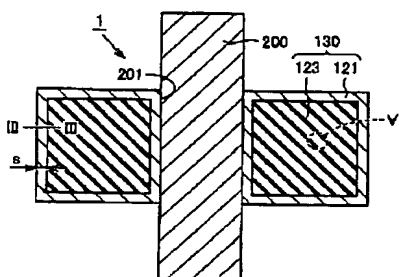
【図 2】



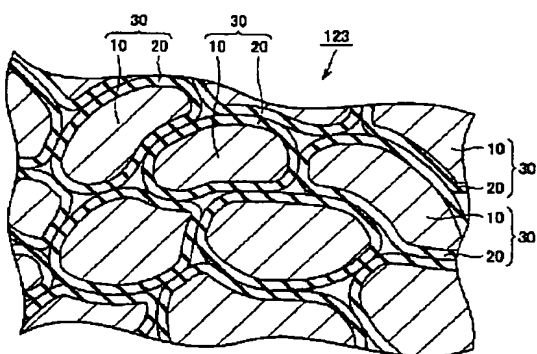
【図 3】



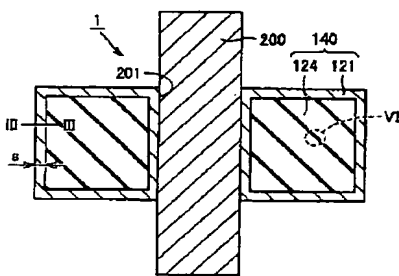
【図 4】



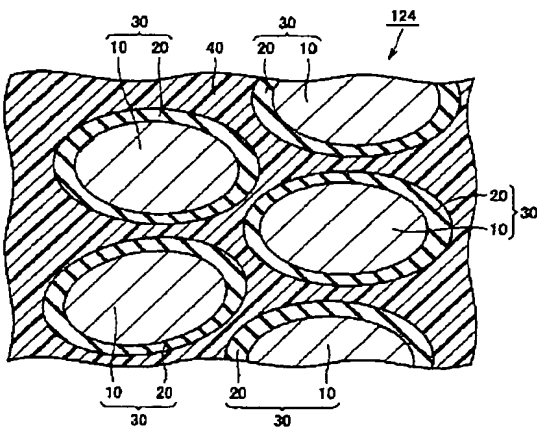
【図 5】



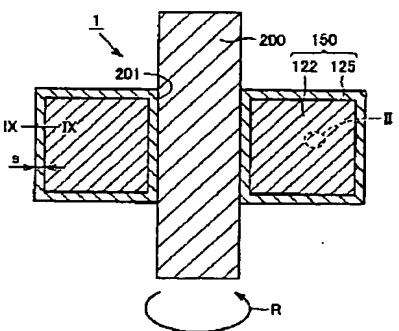
【図 6】



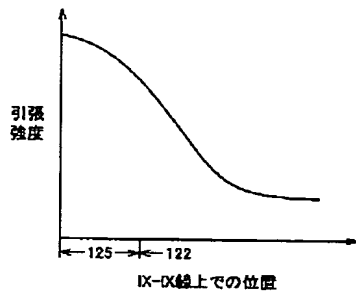
【図 7】



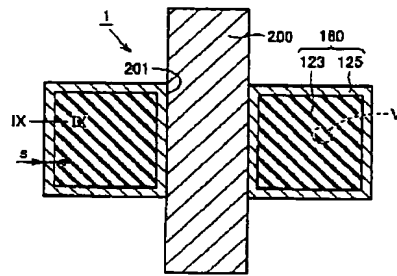
【図 8】



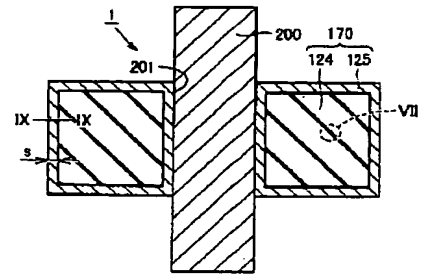
【図 9】



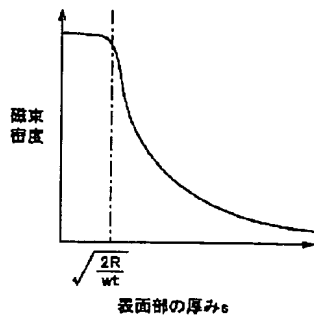
【図 10】



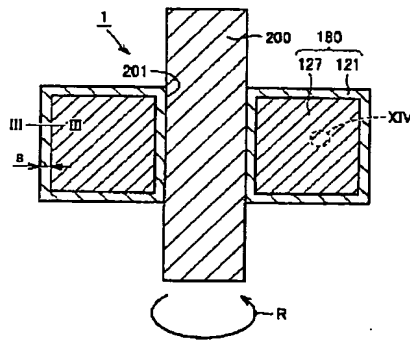
【図 11】



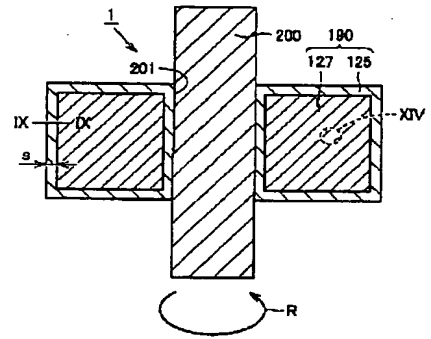
【図 12】



【図 13】



【図 15】



【図 14】

